



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Mobil robotlarda kullanılan DC motorların parametrelerinin belirlenmesi için deney düzeneği geliştirilmesi

Development of experimental setup for determining the parameters of DC motors used in mobile robots

Yazar(lar) (Author(s)): Gürkan GÜRGÖZE¹, İbrahim TÜRKOĞLU²

ORCID¹: 0000-0002-2831-498X

ORCID²: 0000-0003-4938-4167

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Gürgöze G. ve Türkoğlu İ., “Mobil robotlarda kullanılan DC motorların parametrelerinin belirlenmesi için deney düzeneği geliştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 115-121, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.762077

Mobil Robotlarda Kullanılan DC Motorların Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Deney Düzeneği Geliştirilmesi

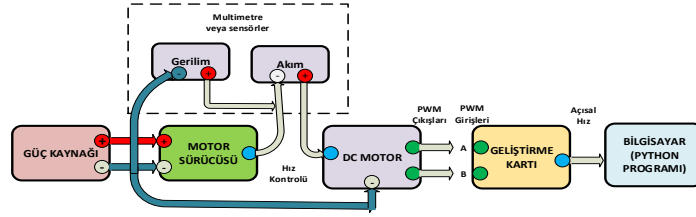
Development of Experimental Setup for Determining the Parameters of DC Motors Used in Mobile Robots

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ DC motor parametrelerinin belirlenmesi için deneysel ölçüm yöntemi üzerinde duruldu./ Focused on experimental measurement method for determining DC motor parameters
- ❖ Deneysel ölçümlerin yapılmasında işlevselliği yüksek geliştirme kartları ve sensörler vasıtasıyla laboratuvarların dışında etkin ve basit deney düzeneği kurma sağlanmıştır./ Establishing an effective and simple experimental setup outside the laboratories was provided by means of highly functional development cards and sensors in performing experimental measurements.
- ❖ Ölçümlere göre parametreler eğri uydurma gibi yöntemlerle elde edilmiştir./ According to the measurements, the parameters were obtained by methods such as curve fitting.
- ❖ Elde edilen parametre değerleri deneysel ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır./ The obtained parameter values were compared with the experimental and simulation results.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu yazıda laboratuvar ortamının dışında geliştirme kartları, kullanımı kolay sensörler ve bazı yazılımsal çözümler ile daha basit deney düzeneğinin kurulması sağlanmıştır./ In this article, it has been provided to establish a simpler experimental setup with development cards, easy-to-use sensors and some software analysis outside the laboratory environment.



Şekil 1. Deney düzeneği /Figure 1. The experimental setup

Amaç (Aim)

Mobil robotlarda kullanılan DC motor parametrelerinin elde edilmesi için basit deney düzeneğinin oluşturulması/ Simple experimental setup to obtain DC motor parameters used in mobile robots

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Geliştirme kartı, sensörler ve bilgisayardan oluşan Şekil 1'deki gibi bir düzenek oluşturulmuştur. / A mechanism as in Figure 1 consisting of a development card, sensors and computer was created.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışma ile temini kolay, maliyeti düşük geliştirme kartları ve sensörler ile yeni bir deney düzeneğinin oluşturulması sağlanmıştır. / With this study, it was ensured that a new experimental setup was created with development cards and sensors that are easy to obtain and cost effective.

Bulgular (Findings)

Deneysel ve benzetim sonuçlarının %1-3 hatayla elde edildiği gözlenmiştir. / It was observed that the experimental and simulation results were obtained with 1-3% error.

Sonuç (Conclusion)

Deneysel ölçümlerle simulink gerilim açısal hız sonuçları karşılaştırıldığında yakın sonuçların elde edildiği gözlenmiştir./ Comparing the experimental measurements and simulink stress angular velocity results, it was observed that close results were obtained.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Mobil Robotlarda Kullanılan DC Motorların Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Deney Düzenegi Geliştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Gürkan GÜRGÖZE^{1*}, İbrahim TÜRKOĞLU²

¹Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Türkiye

²Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 01.07.2020 ; Kabul/Accepted : 01.10.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 29.10.2020)

ÖZ

Mobil robotlarla ilgili çalışmalarda, uygulamalar fiziksel ve simülasyon temelinde ortaya çıkmaktadır. Fiziksel oluşumların maliyet, materyal temini ve zaman kaybı gibi durumları uygulamaların simülasyon ortamında yapılması yönelimini arttırmıştır. Simülasyon çalışmalarında ise önemli nokta gerçek sistemin davranışlarını temsil edebilecek matematiksel modelin oluşturulmasıdır. Matematiksel model ise DC motorlar üzerine oluşturulmaktadır. DC motorların veri sayfalarında gerekli parametrelerin bulunmaması veya kısıtlı olması parametrelerinin deneysel ölçümlerle elde edilmesine neden olmuştur. Deneysel ölçümler için kurulan düzenekler ise genellikle laboratuvar ortamındadır ve karmaşık, materyal temini zor ve maliyetli düzeneklerdir. Ancak son yıllarda geliştirilen geliştirme kartları sensörler daha basit deney düzeneklerini kurma imkânı sağlamaktadır. Bu çalışmada geliştirme kartı ve sensörler ile oluşturulan deney düzenegi aracılığıyla motorun PWM sinyali, devir sayısı, açılma hızı elde edilmiş, sisteme bağlanan multimetre veya ölçüm sensörleri ile motor akımları, gerilimleri ölçülmüştür. Belirli aralıklarla alınan ölçüm değerlerine göre eğri uydurma, Newton – Kirschoff gibi yöntemlerle tork sabiti, emk sabiti, sürtünme, endüvi direnci gibi parametreler elde edilmiştir. Bulunan parametreler Matlab\Simulink ortamında test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DC motorlar, matematiksel model, motor parametreleri, transfer fonksiyonu.

Development of Experimental Setup for Determining the Parameters of DC Motors Used in Mobile Robots

ABSTRACT

In studies about mobile robots, applications emerge on the basis of physical and simulation. Cost, material supply and loss of time of physical studies have increased the tendency to make applications in a simulation environment. The important point in simulation studies is the creation of a mathematical model that can represent the behavior of the real system. The mathematical model is built on DC motors. In this case, DC motor parameters should be known most accurately for the mathematical model. The lack or limitation of the parameters required in the data sheets of DC motors caused the parameters to be obtained by experimental measurements. Mechanisms set up for experimental measurements are usually in the laboratory environment and are complex, difficult to obtain materials and costly. Simpler experimental setups can be established with development cards and sensors developed in recent years. In this study, a simple experimental setup was created by with development card and sensors. PWM signal, speed, angular velocity of the motor was obtained through this experimental setup, and motor currents and voltages were measured with multimeter or measurement sensors. Parameters such as torque constant, opposing EMF, friction, armature resistance were obtained by methods such as curve fitting, Newton-Kirchhoff according to measurement values taken at certain intervals. Found parameters were tested in Matlab\Simulink environment.

Keywords: DC motors, mathematical model, motor parameter, transfer function.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Robotların gelişen yeni teknolojilerle birlikte bilinen veya bilinmeyen ortamlarda hareket kabiliyetlerinin artması mobil robot olarak ifade edilen yapıların geniş bir uygulama sahası bulmasını sağlamıştır[1]. Tekerlekli yapılarda hareketin temel elemanı motorlardır. Tekerlekli mobil robotların özellikle kapalı döngü kontrolü gerektiren uygulamalarda kontrol ve temin edilebilme kolaylığı nedeniyle DC motorlar yaygın olarak kullanılmaktadır. DC motorlu sistemlerde

hareketin istenildiği gibi yapılabilmesi için ise öne çıkan nokta DC motorların doğru kontrolüdür [2].

Mobil robotlarla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde uygulamalar fiziksel ve simülasyon bazlı olarak karşımıza çıkmaktadır. Fiziksel oluşumların maliyet, materyal temini, zaman kaybı ve çalışmanın odağının dışındaki istenilmeyen parametrelerin sisteme girmesi gibi durumlar nedeniyle simülasyon ortamında çalışma eğilimi artmıştır. Simülasyon çalışmalarında ise önemli nokta fiziksel yapının matematiksel modelinin yani dinamik modelinin en doğru şekilde oluşturulmasıdır. Çünkü sistemin doğru dinamik modelinin tanımlanması yapılan kontrollerin ve işlevlerin doğru adımlarla

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : gurkangurgoze@gmail.com

yapılabilmesi ve fiziki yapıya yakın sonuçların elde edilmesi anlamına gelir [3]. Model oluşumunda temel birim DC motorlardır. Bazı çalışmalarda sadece DC motorun modellenmesi sistemin modellenmesi olarak kabul edilmektedir. Bu durumda DC motor parametrelerinin en doğru şekilde elde edilmesi gerekir. Aksi durumda istenilen sistemin modeli gerçekleşmemiş olacaktır [4].

Parametreler motor üreticisi tarafından fabrikada üretim öncesi analitik matematiksel hesaplamalarla veya laboratuvarlarda deney düzeneklerindeki testlerle elde edilir. Ancak robotik, mekatronik alanlarındaki fiziksel uygulamalarda kullanılan küçük DC motorlar düzeyinde bu veriler ya verilmez ya da kısıtlı olarak veri sayfalarında paylaşılır. Aynı zamanda verilen parametreler tasarım koşullarına uygun elde edildiği için bazen dinamik ortamlarda farklılıklar gösterebilmektedir [5]. Bu nedenle parametrelerin gerçek koşullardaki sistem cevaplarına göre elde edilmesi, eksik parametrelerin tanımlanması ve daha doğru, daha hassas modellemenin yapılmasını sağlayacaktır. Bu amaçla bazı motor verilerine dayanan analitik hesaplamalar, tahmini analiz yöntemleri ve deneysel ölçümlerle parametrelerinin elde edilmesi gibi çeşitli parametre belirleme yöntemleri ortaya çıkmıştır [6].

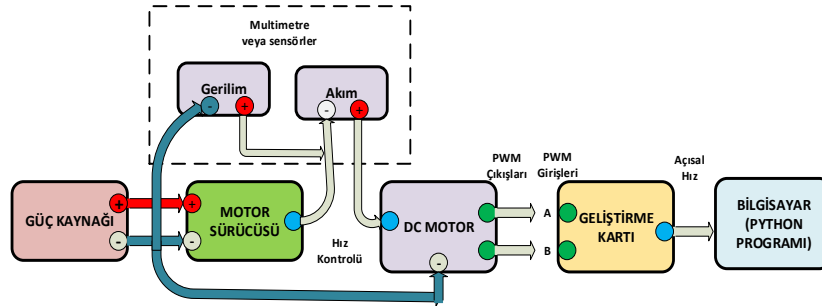
DC motor parametrelerini belirlenmesiyle ilgili yapılan çalışmalara baktığımızda Erdal ve Doğan (2012), DC motor parametrelerinin deneysel yolla elde edilen değerlerini en küçük kareler metodu eğri uydurma yöntemiyle iyileştirerek fiziksel sistem davranışına yakın değerler haline getirmişlerdir. Sonuçların, ölçüm ve dinamik uygulama değerlerine yakın olduğunu göstermişlerdir. Deneysel çalışma laboratuvarında özel ekipmanlı Elektrik Makineleri Test Ünitesi (EMTÜ) üzerinde yapılmıştır. [5]. Daniel-Berhe ve Unbehauen (1998) çalışmalarında DC motor parametrelerinin özel deney düzenekli laboratuvarında Hartley Modülasyon Fonksiyonlarını (HMF) kullanarak gerçek çalışma şartlarına yakın belirlenmesini gerçekleştirmişlerdir [7]. Beloiu, R. (2014) DC motora uygulanan nominal gerilime göre dinamik davranış gösteren parametrelerin daha gerçeğe uygun bulunması için mevcut olanlardan farklı dinamik parametre bulma yöntemi önermiştir. Yöntem geçici ve kalıcı davranışların parametrelerini hassas olarak bulduğunu ortaya koymuştur [8]. Deaconu v.d. (2014) DC motor parametrelerinin otomatik kontrol sistemlerinin genel parametre tahmin teorisine dayalı çevrimdışı tahmini için Matlab GUI ara yüzü bir program geliştirmişlerdir. Bu ara yüz ile—farklı DC motorlar için geliştirilen matematiksel programların program bilgisine bakılmaksızın herhangi bir DC motorun parametrelerini bulmada kolaylık sağlamaktadır [9]. Biró, K. Á. v.d. (2001) senkronize bir makinenin gerçek çalışma parametrelerini tahmin etmede DC Decay Testi uygulamışlardır [6]. Hadeef, ve Mekideche (2011) DC motor parametrelerinin bulunmasında Momentler ve Pasek yöntemlerine dayanan iki yöntem önermişlerdir. Bu yöntemlerin fiziki çalışma şartlarına yakın parametre

değerleri tanımladığı gözlenmiş. Momentler yönteminin Pasek yöntemine oranla geçici bir rejimde gerçeğe daha yakın parametre değerlerine ulaştığı gözlenmiştir [10]. Bu yöntemlerden en belirgin sonucu veren ise deneysel ölçümlerdir. Deneysel ölçümler için kurulan düzenekler ise genellikle laboratuvar ortamlarında karmaşık, materyal temini zor ve maliyetli düzenekler halini alabilmektedir.

Bu yazıda laboratuvar ortamının dışında son yıllarda geliştirilen geliştirme kartları, kullanımı kolay sensörler ve bazı yazılımsal çözümlerle daha basit deney düzeneğinin kurulması ile düşük güçlü, küçük DC motorların belirli parametrelerinin deneysel yollarla elde edilmesi üzerine bir çalışma anlatılmaktadır. Bu çalışmada bölüm 2’de Raspbery Pi geliştirme kartı, akım, gerilim ölçüm sensörleri veya multimetre ile Python programlama dili kullanılarak oluşturulması hedeflenen kolay deney düzeneğinden bahsedilmiştir. Bölüm 3’te benzetim ortamı için gerekli DC motor matematiksel modeli, deney düzeneği aracılığıyla DC motorun PWM sinyali, devir sayısı veya açılma hızı, motor akım, gerilim ölçüm değerleri ve DC motor katalog bilgileri verilmiştir. Bölüm 4’te motora uygulanan belirli güç oranlarındaki PWM, akım ve gerilim ölçüm değerlerine göre sistem matematiksel modeline uygun hesaplamalarla tork sabiti, EMK sabiti, sürtünme, endüvi direnci, atalet momenti gibi parametreleri elde edilmiştir. Böylece gerçek sisteme yakın parametrelere sahip model transfer fonksiyonu kolaylıkla elde edilmiş olacaktır. Bölüm 5’te de elde edilen parametrelerin Matlab/Simulink ortamında oluşturulan DC motor modelindeki test benzetim sonuçları alınmış, deneysel ölçüm değerleriyle karşılaştırması yapılmıştır.

2. DENEY DÜZENEGİ (EXPERIMENTAL SETUP)

Deney düzeneği geliştirme kartı, motor sürücüsü, güç kaynakları ve ölçüm sensör veya aletlerinden oluşmaktadır. Deney düzeneği hesaplamalar için yeterli olacak PWM sinyali, akım ve gerilim ölçümü üzerine kurulmuştur. Düzenekte geliştirme kartı Raspbery pi3, motor sürücüsü L298N, multimetre veya INA219, Max471 vb. akım-gerilim ölçer, güç kaynakları 12 V Li-po pil veya taşınabilir şarj aleti kullanılmıştır. Raspbery Pi üzerinde Raspian işletim sistemi ile Python programları kuruludur. Kullanılan DC motor manyetik hall enkoder sensörlü, 12 V 130 rpm 75:1 redüktör özelliklerindedir. Enkoderden alınacak PWM sinyal ölçümleri Raspbery Pi ile motor bağlantıları yapılarak Python programındaki yazılan program ile elde edilmiştir. Program motora uygulanacak gerilim oranlarındaki değişime göre enkoderlerden PWM, sensör veya multimetreden ise akım ve gerilim değerlerini ölçmemizi sağlamaktadır. Farklı hızlardaki akım ve gerilim değerleri bizlere değişim oranlarını, çeşitli grafiksel ve analitik çözümleri getirecektir. Manuel akım gerilim ölçümlerinde ise multimetre akım için seri, gerilim için sisteme paralel olarak bağlanmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin bağlantı yapısı (Connection structure of the experimental setup)



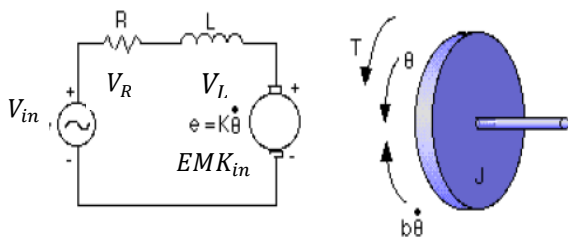
Şekil 2. Deney düzeneği (Experimental setup)

Bağlantılar Şekil 1'de, deney düzeneği ise Şekil 2'de gösterildiği gibidir.

3. DC MOTOR MODELİ, PARAMETRELERİ VE DENEYSEL ÖLÇÜM DEĞERLERİ (DC MOTOR MODEL PARAMETERS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENT VALUES)

3.1 DC Motor Modeli (DC Motor Model)

DC motorlar stator olarak adlandırılan sabit elektriksel kısım ve dönme olayının gerçekleştiği rotor adlı iki kısımdan oluşur. Sisteme verilen V_{in} gerilimine göre armatürde oluşan zıt EMK - $e(t)$ gerilimiyle T_m motor torku üretilir. Elde edilen tork ile motor mili θ_m oranda dönmeye başlar ve ω açısal hızı elde edilir. Elektriksel kısımda gerilimle birlikte kapalı bir döngü içerisinde armatür direnci- R_a ve armatür endüktansı- L üzerinden I_a armatür akımı geçer. Motor tork üretimine rotor kısmında motor ataleti- J_m ve motor iç viskoz sürtünmesi- b_m etki eder. DC motor matematiksel modeli transfer fonksiyonu stator ve rotor kısımları için oluşturulan iki denklemden elde edilir.



Şekil 3. DC Motor Modeli (DC Motor Model)

Kirchoff elektrik devre yasasına göre toplam gerilim denklemi;

$$V_{in} = V_R + V_L + \text{zıtEMK} \quad (1)$$

Burada V_{in} kaynak gerilimi, V_R direnç, V_L armatür endüktansı, $e(t)$ EMK üzerindeki gerilimlerdir. Sırasıyla açarsak aşağıdaki gibi bir denklem elde edilir.

$$V_{in} = R_a \cdot I_a(t) + L \cdot \frac{dI_a(t)}{dt} + e(t) \quad (2)$$

Zıt EMK- $e(t)$ ise;

$$e(t) = K_e \cdot \omega(t) = K_e \cdot \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (3)$$

Newton toplam kuvvet yasasına göre oluşan denklik;

$$T_m = T_L + T_a + T_s \quad (4)$$

Bu denklemi sırasıyla açarsak aşağıdaki denklem oluşur.

$$T_m = I_a \cdot K_t = T_L + J_m \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + b_m \cdot \omega(t) \quad (5)$$

İki denklemin sonucunda elde edilen transfer fonksiyonu

$$G_S(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{(L \cdot s + R_a)(J_m \cdot s + b_m) + K^2} + T_L \quad (6)$$

şeklinde oluşur. Böylece matematiksel model için gerekli parametreler;

T_m -motor torku- (Nm), b_m - viskoz sürtünme-(Nms/rad), T_L yük torku-(Nm), J_m - motor ataleti-(Nm/ (rad/s²)), K_e - EMK sabiti- (Vs/rad), K_t - motor tork sabiti (Nm/A), R_a - armatür direnci(ohm)- L_a armatür endüktansı-(mH), $\omega(t)$ - açısal hızı (rad/s), armatür akımı- $I_a(t)$, m-kütle(kg), r-tekerlek yarıçapı olarak listelenebilir [11,12,13].

3.2 Deneysel Ölçüm Değerleri ve Katalog Bilgileri (Experimental Measurement Values and Catalog Information)

Python programlama dili kullanılarak Şekil 2'deki deney düzeneğinden alınan bazı ölçüm değerleri Tablo 1 'de verilmiştir. Ölçüm değerleri motora bağlanan tekerlek ve bağlantı mekanizmasıyla verilen yüke bağlı olarak elde edilmiştir. Çünkü yüklü deneysel ölçümler fiziksel ortamlardaki çalışmalarda motorun maruz kalacağı çevre koşullarına daha yakın ve gerçekçi değerlerin bulunmasını sağlayacaktır. Bilindiği gibi mobil robot çalışmalarında genellikle motor hız kontrolü darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile gerçekleştirilmektedir. Motorun bir tur atması için gerekli darbe sayısına uygun Pulse (darbe) üretilirse ideal bir hız kontrolü sağlanmış

olur. Aynı şekilde motorun bir devirde ulaştığı darbe sayısı da bizim onun hangi hıza ulaştığı bilgisini vermektedir. İdealde motorun bir devirde ulaşması gereken darbe sayısı ile enkoderden gerçekte üretilen darbe sayısı alınarak bir çok çalışmada kontrolörlerle hızın ayarlanması sağlanır. Tablo 1'deki PWM Sinyalleri DC motor üzerindeki Hall sensörüyle geliştirme kartı üzerinden elde edilmektedir. Bu değerler bir saniyedeki dönüşle üretilen Pulse sayısıdır. Burada amaç, DC motorun katalog bilgilerindeki saniyedeki Pulse değerine göre motorun açısal hızını hesaplamak.

Çizelge 1. Motorun Bazı Deneysel Ölçüm Değerleri (Some Experimental Measurement Values of the Motor)

Yüzde (%)	Gerilim (volt)	Akım (amper)	PWM (pulse-s)	Açısal Hız (rad/s)
100	10,75	0,2037	3027,00	11,47543047539
95	10,17	0,1818	2900,00	10,99397039268
90	9,69	0,1742	2764,00	10,47839109151
85	9,28	0,1687	2637,00	9,99693100879
80	8,70	0,1621	2470,00	9,36382995514
75	8,14	0,1564	2310,00	8,75726607141
70	7,60	0,1503	2150,00	8,15070218768
65	7,05	0,1463	1983,00	8,51760113403
60	6,54	0,1423	1832,00	7,94515646875
55	6,02	0,1375	1679,00	7,36512975493
50	5,51	0,1325	1528,00	6,29268508966
45	5,00	0,1273	1382,00	5,73919554575
40	4,48	0,1232	1232,00	5,17054190475
35	3,99	0,1202	1088,00	4,62463440939
30	3,49	0,1150	952,00	4,10905510822
25	2,99	0,1085	821,00	3,61243092841
20	2,50	0,1053	684,00	3,09306060296
15	1,99	0,1020	535,00	2,02819798624
10	1,37	0,0823	236,00	0,89468172851
5	0,61	0,0524	0,00	0,00000000000

Motorun direnci ve armatür endüktansı ölçü aletiyle ölçüldüğünde $R_a \cong 50 \Omega$ ve $L_a = 1000 \mu H$ olarak elde edilmiştir. Motor direnci bir multimetre (Avometre) ile değil RLC metre veya Watson Köprüsü ya da Regler gibi çok daha hassas ölçü aletleri ile ölçülür.

4. MOTOR PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ (OBTAINING MOTOR PARAMETERS)

Daha önceki (2) nolu bağıntıda gerilim denklemi için armatür endüktansı L_a değeri çok küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilir. L_a ihmal edilirse bağıntı;

$$V_{in} = R_a \cdot I_a(t) + e(t) \quad (7)$$

burada (3) nolu denklemdeki Zıt -EMK sabitini de açarak yazarsak;

$$V_{in} = R_a \cdot I_a(t) + K_e \cdot \omega(t) \quad (8)$$

şeklinde olur.

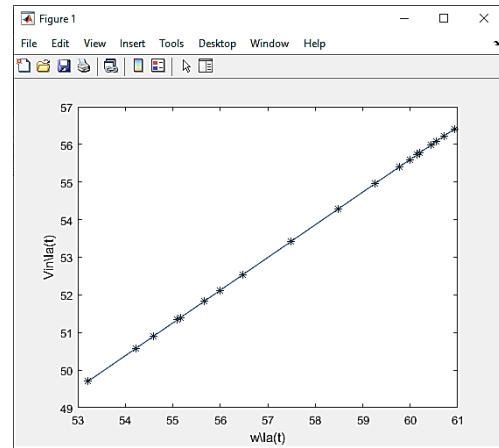
(8) nolu denklemde her iki taraf $I_a(t)$ 'ye bölünürse K_e ve R_a sabitlerinin hesaplanmasında bilinenlerin etki edeceği yeni bir denklem (9) ve değişim grafiği Şekil 4'teki gibi elde edilecektir.

$$\frac{V_{in}}{I_a(t)} = R_a + K_e \cdot \frac{\omega(t)}{I_a(t)} \quad (9)$$

Grafik üzerinde eğri uydurma yöntemi uygulayarak [5];

$$y=0,8693x+53,694 \quad (10)$$

$R^2=0,9999$. Y denklemi denklem (9) ile eşleştirilerek $K_e=0,8693$, $R_a=53,694 \Omega$ elde edilir.



Şekil 4. Zıt EMK sabiti (K_e) ve direnç (R_a) elde edilme grafiği (Graph of obtaining the back EMF constant (K_e) and resistance (R_a))

Motorlardaki güç, kaynağın sağladığı gerilim ve motorun çektiği akım ile Denklem (11)'deki gibidir.

$$P = \text{voltage} \times \text{akım} \quad (11)$$

$$P = V \cdot I$$

Aynı zamanda motorun harcadığı gücü motorun torku ile açısal hızının çarpımı ile de elde edebiliriz.

$$P = \text{tork} \cdot \text{açısal hız} \quad (12)$$

$$P = T \cdot \omega$$

Denklem (11) ve Denklem (12)'yi aşağıdaki gibi denkleştirir ve $T_m = K_t \cdot I_a(t)$ denklemini yerine yazarsak

$$P = V(t) \cdot I_a(t) = T_m \cdot \omega(t)$$

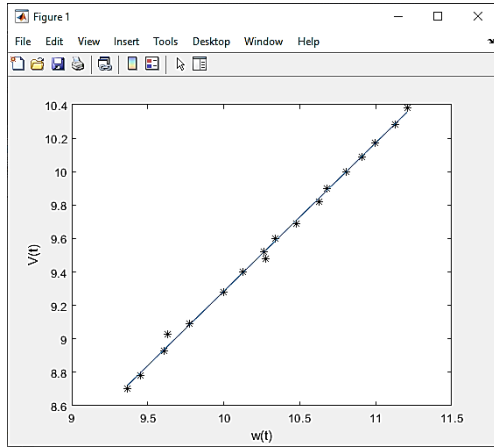
$$P = V(t) \cdot I_a(t) = K_t \cdot I_a(t) \omega(t)$$

$$K_t = \frac{V(t)}{\omega(t)} \text{ olur [14].} \quad (13)$$

Denklem 13'e göre Şekil 5'teki gerilim - açısal hız değerlerinin eğri uydurma yöntemine dayalı grafiği ile K_t değeri; $y=0,8883x+0.304$ ve $R^2=0,9989$ ve $K_t = 0,8883$ olarak elde edilir.

K_t aynı zamanda aşağıdaki gibi bir bağıntıya (14) sahiptir.

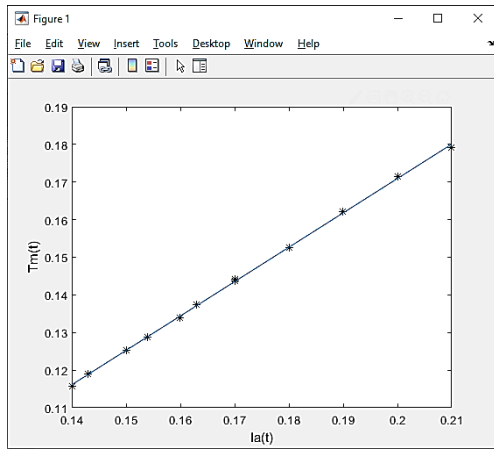
$$K_t = \frac{\text{Zorlanma torku}}{\text{Durma akımı}} = \frac{T_m}{I_a(t)} \quad (14)$$



Şekil 5. Tork sabitinin (K_t) bulunma grafiği (The graph of finding the torque constant (K_t))

T_m değerlerini ölçmek için özel ekipmanlar gereklidir. Ancak ölçme yapmadan Denklem (14)'den K_t değeri sabit olduğundan dolayı, ölçülen akıma karşılık gelen T_m değerlerine ait bir grafik Şekil 6'te gösterildiği çizilebilir. Böylece belirli akımlardaki T_m değerleri bulunmuş olur. Eğri uydurma yöntemine göre denklem:

$y=0,9246x+0,1429$ ve $K_t =0,9246$ $R^2 = 0,9996$ olarak elde edilir.



Şekil 6. K_t tork sabitinin motor yükü ve akıma bağlı eğri uydurma yöntemiyle elde edilme grafiği (Graph of obtaining torque constant K_t by curve fitting method depending on motor load and current)

Denklem (5)'te sürekli zamanda ivmesi sıfır olacağından $\frac{dw(t)}{dt}=0$ olacaktır. Bu durumda Denklem (5) aşağıdaki Denklem (15)'ye dönüşecektir.

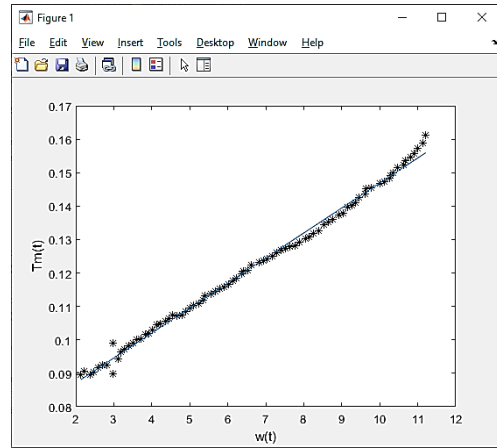
$$T_m = T_L + b_m \cdot \omega(t) \quad (15)$$

Denklem (15)'da belirli bir süreklilik anındaki T_m ve $\omega(t)$ değerleri artık bilinmektedir. T_L yük momenti bilindiği takdirde b_m viskoz sürtünme katsayısı da bulunabilir.

Şekil 6'te gösterilen $I_a(t)$, T_m değerleri grafiğinden ölçümlerdeki $\omega(t)$ karşılıklarına göre, T_m , $\omega(t)$ grafiği

elde edilerek eğri uydurma yöntemiyle de T_L ve b_m değerleri bulunabilir.

Grafik elde edildiğinde denklem $0,00075x+0,0722$ elde edilir. $R^2 = 0,9974$ $b_m=0,00075$ ve $T_L=0,0722$ olur.



Şekil 7. Visköz sürtünme (b_m) ve yük torku (T_L) ve bulma grafiği (Viscous friction (b_m) and load torque (T_L) and finding plot)

Atalet momentinin açısal ivmelenmeye bağlı denklemini:

$$J_m = \frac{T_a}{\frac{dw(t)}{dt}} \quad (16)$$

Burada $\frac{dw(t)}{dt}$ açısal ivmelenmedir.

Açısal hız- zaman grafiğine göre ivmenin eğimi;

$y=6,863x+6,635$ ve $R^2 = 0,9990$ olarak elde edilir.

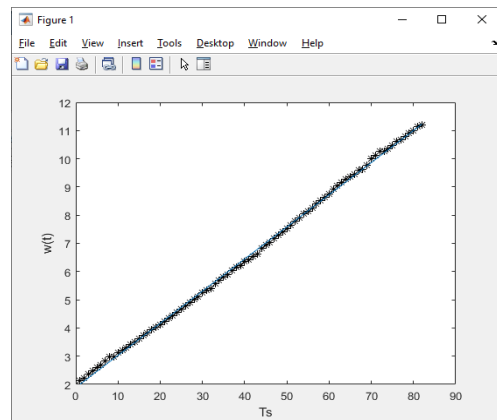
Ortalama olarak $\dot{\omega} = \frac{dw(t)}{dt} = 2,696$ (rad/s²) olur.

$T_a = I_a \cdot K_t$ burada T_a ve I_a zorlanma veya durma değerleridir. $K_t = 0,8693$ ve zorlanma akımı $I_a = 0,3$, $T_a = 0,260$ Nm göre;

$$J_m = \frac{T_a}{\frac{dw(t)}{dt}}, \quad J_m = \frac{0,260}{6,863} = 0,038 \text{ Nm/ (rad/s}^2\text{)} \text{ elde edilir.}$$

Sonuçta dc motor parametreleri;

$J_m = 0,038$ Nm/ (rad/s²), $K_e = 0,8693$ (Vs/rad), $R_a = 53,694$ (ohm), $K_t = 0,8883$ (Nm/A), $b_m = 0,00075$ (Nms/rad), ve $T_L = 0,0722$ (Nm), $L_a = 1000$ μ H



Şekil 8. Açısal hız- zaman grafiğine göre ivmenin eğimi (The slope of the acceleration according to the angular velocity-time graph)

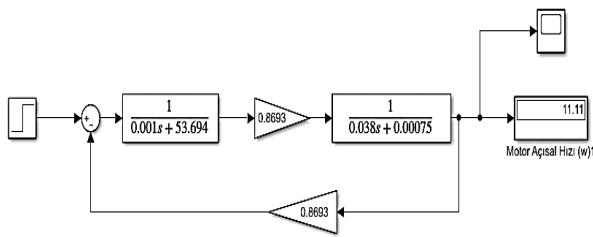
5. DENEYSEL ÖLÇÜMLERİN BENZETİM SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF EXPERIMENTAL MEASUREMENTS WITH SIMULATION RESULTS)

Bulunan parametrelere göre Matlab\Simulink ortamında bir DC motor dinamik modeli için gerekli transfer fonksiyonu;

$$G_s(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{(L.s+R_a)(J_m.s+b_m)+K^2}$$

$$= \frac{0.8693}{(0.001.s+53.694)(0.038.s+0.00075)+0.8693^2}$$

elde edilir. Aşağıda Şekil 9'da transfer fonksiyonuna göre oluşturulan simulink modeli görülebilir.



Şekil 9. DC Motor Modeli (DC Motor Model)

Yukarıdaki simulink modelinin belirli gerilimlerdeki açılma hızları aşağıdaki tabloda deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Deneysel Ölçüm ve Benzetim Gerilim (V)- Açılma Hız (w) Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison of Experimental Measurement and Simulation Voltage (V) - Angular Speed (w) Results)

	Yüzde (%)	Gerilim (volt)	Açılma Hız (rad/s)
Deneysel Ölçümler	100	10,75	11,475
Benzetim Sonuçları			11,50
Deneysel Ölçümler	95	10,17	10,993
Benzetim Sonuçları			10,88
Deneysel Ölçümler	90	9,69	10,478
Benzetim Sonuçları			10,37
Deneysel Ölçümler	85	9,28	9,996
Benzetim Sonuçları			9,93
Deneysel Ölçümler	80	8,70	9,363
Benzetim Sonuçları			9,31
Deneysel Ölçümler	75	8,14	8,757
Benzetim Sonuçları			8,71

Sonuçlara deneysel çalışmada verilen gerilime göre alınan akım ve açılma hız çıkışlarının, simulink çalışmasında da %1-3 arasında yakın sonuçlar olarak elde edildiği görülmüştür. Bu da motorun gerilim girişine göre parametrelerin gerçek değerlere yakın olarak

bulduğunu göstermektedir. Bu da deney setinin hassas ve doğru ölçümler verdiğini ortaya koymaktadır. Ölçüm değerlerinin doğruluğu yukarıda eğri uydurma, ölçüm, nominal değerlerin kullanılması gibi farklı yöntemlerle elde edilen parametre değerlerinde de görülmektedir. Örneğin, eğri uydurma yöntemiyle gerilim ve açılma hızı bağlı $K_t = 0,9246$, motor yükü ve akıma göre ise $K_t = 0,8883$, multimetre ile $R_a = 50$ (ohm) ölçülmüş, hesaplamalarda ise $R_a = 53,694$ (ohm) olarak bulunmuştur. Deneysel ölçümün başarılı yapıldığı Çizelge 2'deki yakın sonuçlardan görülmektedir.

Deneysel ölçümde yukarıda bahsedilenin ötesinde daha hassas sonuçların elde edilmesi istenebilir. Bu durum yapıdaki elektronik sistemlerin harcadığı akım ve gerilimlerin hesaba katılmasıyla gerçekleştirilebilir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada veri sayfalarında eksik veya paylaşılmayan küçük dc motorların parametrelerinin son yıllarda kullanımı ve temini kolay geliştirme kartları ve sensörlerle oluşturulan basit deney düzeneği ile elde edilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği dc motorun bağlı olduğu Raspberry pi geliştirme kartı, akım ve gerilim sensörleri ile gerçekleştirilmiştir. DC motorun gerçek sonuçlar üretmesi için belirli oranda bir yük üzerinde çalıştırılması sağlanmış ve değerler ölçülmüştür. Değerlerin en küçük kareler eğri uydurma yöntemiyle ve deneysel hesaplama yöntemleriyle bulunması sağlanmıştır. Bulunan parametreler ile bir dc motor Simulink modeli üzerinde çıkarışlar alındı. Deneysel ölçümlerle Simulink gerilim açılma hız sonuçları karşılaştırıldığında yakın sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Gürkan GÜRGÖZE: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

İbrahim TÜRKOĞLU: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hirpo, B. D. And Zhongmin, W. "Design and Control for Differential Drive Mobile Robot.". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 6(10): (2017).

- [2] Beloiu, R. "Dynamic Determination of DC Motor Parameters-Simulation and Testing". *In Proceedings of the 2014 6th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 13-18, (2014).
- [3] Nouri, B. M. "Modelling And Control of Mobile Robots". *ICMSAO/05, American University of Sharjah, UAE*, February, 1, (2005).
- [4] Ivanjko, E., Petrinic, T., and Petrovic, I. "Modelling of Mobile Robot Dynamics". *In 7th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation*, 2, (2010).
- [5] Erdal, H. ve Doğan, B. "DC Motor Parametrelerinin Deneysel Tabanlı Belirlenmesi ve Parametre Belirleme Sonuçlarının İyileştirilmesi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3): 589-598, (2012).
- [6] Biró, K. Á., Szabo, L., Iancu, V., Hedesiu, H. C., and Barz, V. "On the Synchronous Machine Parameter Identification". *Technical University of Cluj-Napoca*. (2001).
- [7] Daniel-Berhe, S., and Unbehauen, H. "Experimental Physical Parameter Estimation of a Thyristor Driven DC-Motor Using the HMF-method." *Control Engineering Practice*, 6(5): 615-626. (1998).
- [8] Beloiu, R. Dynamic determination of DC motor parameters-Simulation and testing. *In Proceedings of the 2014 6th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 13-18, IEEE, (2014).
- [9] Deaconu, A. S., Deaconu, D., Chirilă, A., Dumitrescu, A. M., Năvrănescu, V., and Bostan, V. "GUI Interfaces For Off-Line Determination of DC Electric Motor Parameters". (*ATEE*) (, 1-6, (2011).
- [10] Hadeif, M., and Mekideche, M. R. "Moments and Pade's methods for parameter identification of a DC motor". *Journal of Zhejiang University Science C*, 12(2): 124-131, (2011).
- [11] Yeniaydin Y., Sakacı B., Yaren T., Süel V. ve Kizir, S. "DC Motor Hız Kontrolü için Model Referans Uyarlamalı PID Denetleyici Tasarımı."
- [12] Stepniewski, A., Grudzinski, J., Krzywicka, M., and Stankiewicz, A. "Dynamics model of a vehicle with DC motor." *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 15(1), (2015).
- [13] Marchewka, D., & Piątek, M. "Wheeled mobile robot modeling aspects". *AGH University of Science and Technology*, Krakow, Poland. (2006).
- [14] Hou, L., Liang Z., and Jongwon K. "Energy modeling and power measurement for mobile robots." *Energies* 12(1), 27, (2019).